

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL VINICIUS KORB

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS PARA A CULTURA DO MILHO EM SISTEMA
INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

DOIS VIZINHOS

2023

DANIEL VINICIUS KORB

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS PARA A CULTURA DO MILHO EM SISTEMA
INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

**FERTILIZATION OF SYSTEMS FOR MAIZE CULTIVATION IN INTEGRATED
AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEM**

Trabalho de conclusão de curso de Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Laércio Ricardo Sartor.

DOIS VIZINHOS

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Dois Vizinhos**



DANIEL VINICIUS KORB

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS PARA A CULTURA DO MILHO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências Agrárias da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Agroecossistemas.

Data de aprovação: 04 de Julho de 2023

Dr. Laercio Ricardo Sartor, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Christiano Santos Rocha Pitta, Doutorado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (Ifpr)

Dr. Jonatas Thiago Piva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 04/07/2023.

**DOIS VIZINHOS
2023**

Dedico este trabalho à minha família, por toda força
e incentivo.

Para todos os professores, que participaram
e apoiaram a pesquisa.

Para todos os meus amigos que tornaram a jornada
um pouco mais fácil diante do apoio dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

À minha amada família por todo o apoio e encorajamento durante minha jornada de pesquisa para esta dissertação de mestrado. Seu amor, compreensão e suporte incondicional foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e bem-estar emocional. Sou imensamente grato por ter vocês ao meu lado nesta jornada.

À minha companheira de vida Bianca Anselmo, a qual pude compartilhar as alegrias e dificuldades durante todo esse processo, sempre me dando força e afago.

Ao meu orientador Professor doutor Laercio Ricardo Sartor, por sua paciência e pela excelência em seus ensinamentos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas - PPGSIS, por serem condutores de almas e sonhos.

Agradeço de coração aos meus amigos por estarem ao meu lado durante minha jornada. Seu apoio e incentivo foram fundamentais para minha realização acadêmica. Sou grato por ter amigos tão especiais.

Ao Laboratório de Solos – LABSOLOS da UTFPR – Pato Branco, pela realização das análises de solo.

“Não são as espécies mais fortes que sobrevivem, nem as mais inteligentes, e sim as mais suscetíveis a mudanças”. (CHARLES DARWIN)

RESUMO

O trabalho foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus de Dois Vizinhos, no ano agrícola 2021/2022. Onde, objetivou-se avaliar a influência da adubação residual de N, P e K feita na pastagem hiberna para a cultura do milho (*Zea mays*) em um sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas (esquema trifatorial 3x4x5). No inverno, toda área recebeu adubação de N, P e K (400 kg.ha⁻¹ do adubo formulado 05-20-10 (NPK) e 120 kg de N ha⁻¹ a lanço), no plantio das espécies forrageiras constituída do consórcio aveia (*Avena strigosa* S.) + azevém (*Lolium multiflorum* L.) + trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum* Savi). Os tratamentos durante o ciclo da pastagem foram compostos de dois níveis de suplementação animal, sendo: suplementação a 0,3% do peso vivo, suplementação 0,5% do peso vivo e a testemunha sem suplementação. No verão, para cada parcela proveniente do inverno foram alocadas 4 subparcelas com diferentes doses de fósforo e potássio (0, 30-20, 60-40 e 90-60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente) adicionados em linha no plantio do milho. Em cada subparcela da adubação P e K foram alocadas cinco subsubparcelas com doses de nitrogênio (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹) em cobertura na cultura do milho, aplicado a lanço na forma de ureia (46% de N). Foram avaliados atributos químicos do solo e rendimento de biomassa da cultura do milho. Após o inverno observa-se que o efeito residual da adubação é muito eficiente, elevando consideravelmente os teores de fósforo (de 21,4 para 44,1 mg dm⁻³) e potássio (de 0,60 para 0,72 cmol_c dm⁻³) do solo na profundidade 0-20 cm, não sendo observada diferenças entre as doses de suplementação feita aos animais bovinos de corte. Após o ciclo do milho, não foi possível avaliar a produção de grãos de acordo com as doses de adubação, devido ao longo período de estiagem que afetou a cultura do milho. Foram avaliados os teores de P e K presentes no solo, e com os resultados é possível concluir que a longo prazo os SIPA é muito eficiente. O P apresentou 58,7% de eficiência durante a fase de pastagem, e em média 33% de eficiência durante a cultura do milho. Já o K, apresentou 80,8% de eficiência durante o ciclo de pastagem, evidenciando a estabilidade de sistema.

Palavras-Chave: Adubação de Pastagem. Ciclagem de nutrientes. Fertilidade do solo.

ABSTRACT

The work was conducted at the Federal Technological University of Paraná - UTFPR, Dois Vizinhos Campus, during the agricultural year 2021/2022. The objective was to evaluate the influence of residual fertilization of N, P, and K applied to the winter pasture on corn (*Zea mays*) in an integrated crop-livestock production system (SIPA). The treatments were arranged in split-plot design (3x4x5 trifactorial scheme). In the winter, the entire area received N, P, and K fertilization (400 kg/ha of 05-20-10 formulated fertilizer (NPK) and 120 kg of N/ha broadcast), at the planting of forage species consisting of a consortium of oats (*Avena strigosa* S.) + ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) + vesicular clover (*Trifolium vesiculosum* Savi). The treatments during the pasture cycle consisted of two levels of animal supplementation: supplementation at 0.3% of live weight, supplementation at 0.5% of live weight, and a control without supplementation. In the summer, four subplots with different doses of phosphorus and potassium (0, 30-20, 60-40, and 90-60 kg/ha of P₂O₅ and K₂O, respectively) were allocated for each plot from the winter. In each P and K fertilization subplot, five sub-subplots with nitrogen doses (0, 75, 150, 225, and 300 kg/ha) were applied as topdressing to the corn crop, broadcast in the form of urea (46% N). Soil chemical attributes and corn biomass yield were evaluated. After the winter, it was observed that the residual effect of fertilization was very efficient, significantly increasing soil phosphorus levels (from 21.4 to 44.1 mg/dm³) and potassium levels (from 0.60 to 0.72 cmolc/dm³) at a depth of 0-20 cm, with no differences observed between the levels of supplementation provided to beef cattle. After the corn cycle, it was not possible to evaluate grain production according to the fertilization doses due to the long period of drought that affected the corn crop. The levels of P and K present in the soil were evaluated, and the results indicate that SIPAs are very efficient in the long term. Phosphorus showed 58.7% efficiency during the pasture phase and an average of 33% efficiency during the corn crop. Meanwhile, potassium exhibited 80.8% efficiency during the pasture cycle, highlighting the system's stability.

Keywords: Pasture Fertilization. Nutrient Cycling. Soil Fertility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Milho na fase V4 de desenvolvimento em sistema de integração lavoura pecuária sob diferentes doses de adubação fosfatada, potássica e nitrogenada. UTFPR-Dois Vizinhos.....31
- Figura 2 – Precipitação (mm) durante o cultivo do milho safra 2021/2022. Dois Vizinhos.....32
- Figura 3 – Milho sem produção na fase final de desenvolvimento em sistema de integração lavoura pecuária sob diferentes doses de adubação fosfatada, potássica e nitrogenada. UTFPR-Dois Vizinhos.....33
- Figura 4 – Milho coletado para análise de Massa Verde em sistema de integração lavoura pecuária sob diferentes doses de adubação fosfatada, potássica e nitrogenada. UTFPR-Dois Vizinhos.....33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da instalação do experimento. M.O. por digestão úmica; P, K, Cu, Fe, Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich-I; pH em CaCl 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L ⁻¹ . UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	28
Tabela 2 - Teores de Matéria Orgânica (MO) em g/dm ³ na profundidade 0 a 20 cm após saída dos animais. M.O extraído com digestão úmica. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	35
Tabela 3 - Teores de Fósforo (P) em mg/dm ³ na profundidade 0 a 20 cm após saída dos animais da pastagem. P extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	35
Tabela 4 - Teores de Potássio (K) em cmolc dm ⁻³ na profundidade 0 a 20 cm após saída dos animais. K extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	37
Tabela 5 - Teores de Matéria Orgânica (MO) em g dm ⁻³ na profundidade 0 a 10 cm após safra do milho. M.O extraído com digestão úmica. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	38
Tabela 6 - Teores de Matéria Orgânica (MO) em g/dm ³ na profundidade 10 a 20 cm após safra do milho.....	39
Tabela 7 - Teores de Fósforo (P) em mg dm ⁻³ na profundidade 0 a 10 cm após safra do milho. P extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	40
Tabela 8 - Teores de Fósforo (P) em mg dm ⁻³ na profundidade 10 a 20 cm após safra do milho. P extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	41
Tabela 9 - Teores de Potássio (K) em cmolc dm ⁻³ na profundidade 0 a 10 cm após safra do milho. K extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	42
Tabela 10 - Teores de Potássio (K) em cmolc dm ⁻³ na profundidade 10 a 20 cm após safra do milho. Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da instalação do experimento. K extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	43
Tabela 11 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm após o fim do experimento. M.O. por digestão úmica; P, K, Cu, Fe, Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich-I; pH em CaCl 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L ⁻¹ . UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.....	44
Tabela 12 - Balanço de entradas e saídas de Fósforo (P) em kg de P em uma profundidade de 0-20 cm, durante o ano agrícola de 2021/2022.....	44
Tabela 13 - Balanço de entradas e saídas de Potássio (K) em kg de K em uma profundidade de 0-20 cm, durante o ano agrícola de 2021/2022.....	46
Tabela 14 - Produção de Massa Seca e Massa Verde de milho em sistema de integração lavoura pecuária sob diferentes doses de adubação fosfatada, potássica e nitrogenada. UTFPR - Dois Vizinhos.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
SIPA	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
ATP	Adenosina Trifosfato
LABSOLOS	Laboratório Multiusuário de Solos
SPD	Sistema de Plantio Direto
MV	Massa Verde
MS	Massa Seca

LISTA DE SÍMBOLOS

Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
SB	Saturação de Bases
P	Fósforo
K	Potássio
kg	Quilo
mg	Miligramas
g	Gramas
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
RNA	Ácido Ribonucleico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivos Gerais	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1.	Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA).....	18
3.2.	Consórcio de gramíneas (aveia/azevém) e leguminosas (trevo visiculoso).....	20
3.3.	Suplementação animal.....	21
3.4.	Adubação de sistemas e a sucessão de culturas	22
3.5.	Adubação com fósforo e potássio	23
4	METODOLOGIA	27
4.1.	Localização da Área Experimental.....	27
4.2.	Descrição do Clima e Dados de Precipitação	27
4.3.	Área Experimental	27
4.4.	Desenho Experimental.....	28
4.5.	Condução do Experimento	29
4.5.1	Pastagem Hiberna (Aveia + Azevém + Trevo Visiculoso)	29
4.5.2	Milho	30
4.5.3	Solo	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1.	Pós-Pastagem.....	35
5.2.	Pós Milho	38
5.3.	Balanco de P	44
5.4.	Balanco de K.....	45
5.5	Produção de Matéria Seca (MS) no Milho	46
6	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Sistemas altamente produtivos de agricultura demandam uma aplicação mais significativa de fertilizantes, o que os torna inviáveis devido às questões econômicas e ambientais. Diante disso, torna-se necessário estudar modelos agrícolas que tragam maior eficiência de uso dos insumos eficiência e sustentáveis. De acordo com Carvalho et al. (2006) o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) é uma denominação brasileira a sistemas de produção que se caracterizam, principalmente, pela combinação de ciclos de agricultura com ciclos de pecuária, em sucessão na mesma área. Em sua maioria os sistemas se alicerçam na rotação de culturas anuais de grãos com pastagens anuais ou perenes.

A adubação de sistemas é um conceito que se baseia na ciclagem biológica dos nutrientes ao longo das diferentes fases de um sistema de rotação de culturas. Seu objetivo principal é alcançar a máxima eficiência no uso dos nutrientes, reduzindo a necessidade de insumos externos, evitando perdas e preservando a fertilidade do solo a longo prazo. Essa abordagem difere do modelo de fertilização tradicional, que normalmente é focado em atender às necessidades específicas de cada cultura individualmente. Na adubação de sistemas, todas as culturas envolvidas na rotação, incluindo pastagens e culturas agrícolas, são consideradas componentes-chave na transferência de nutrientes entre elas.

A demanda por nutrientes de uma cultura pode ser atendida pela ciclagem de nutrientes do sistema e pelas entradas ou adições de nutrientes em forma de adubação. Esta ciclagem por sua vez, depende de alguns fatores, dentre eles a velocidade com que os resíduos da cultura antecessora se decompõem.

Do ponto de vista da sustentabilidade, a agricultura e a pecuária não devem ser vistas como atividades antagônicas, mas sim como atividades complementares que, quando integradas, funcionam em sinergismo tendo a lavoura um melhor resultado quando integrada com a pecuária e vice-versa. O sucesso deste sistema depende do manejo integrado dos seus componentes (solo-planta-animal) que por sua vez, são dinâmicos e interagem entre si.

Tradicionalmente, em cultivo sob sistema de plantio direto, a adubação é feita para a cultura produtora de grãos e durante o cultivo de gramíneas como aveia preta por exemplo, pouca ou nenhuma adubação é aplicada nesta cultura. Porém no sistema de integração lavoura-pecuária preconiza-se a adubação das culturas

forageiras, com possibilidades que a adubação da planta forrageira possa suprir a produção animal e o cultivo de grãos implantado na sequência. Isto faz com que a pesquisa comece a sugerir um processo de antecipação de adubação de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) destinada à cultura de grãos, sendo esta aplicada na pastagem antecessora a tal cultivo, tendo como princípio a adubação do sistema não apenas da cultura a ser implantada.

Dessa forma, justifica-se fazer uma adubação, no período hibernar e no ciclo da pastagem, com expectativa de resposta para as culturas de milho/soja, devido ao potencial reciclador de nutrientes do animal em pastejo nesse período, surgindo um novo conceito de adubação, a adubação do sistema. Essa adubação do sistema consiste em uma antecipação da fertilização (N, P e K), que seria feita na semeadura da cultura de verão, favorecendo a produção da pastagem, aumentando os ganhos com a pecuária e ainda explorando a reciclagem do animal para disponibilizar o P e K, aplicado no período hibernar, para a cultura de verão.

A maior eficiência da adubação de sistema em integração lavoura-pecuária se deve principalmente pelo fato do animal atuar como reciclador de nutrientes, pois apenas uma pequena parte dos nutrientes ingeridos durante o processo de pastejo são exportados via carne, e a maioria volta para o sistema via fezes e urina. Os nutrientes que retornam para o solo, via fezes e urina dos animais, podem ser reaproveitados pelas plantas submetidas ao pastejo e posteriormente para a cultura de verão, sobretudo quando é realizado um manejo adequado da intensidade de pastejo, seguindo um fluxo de reciclagem de nutrientes. Sendo assim, esses nutrientes dificilmente são perdidos por lixiviação ou escoamento superficial e permanecem no sistema produzindo alimento.

A disponibilidade de nutrientes no sistema integração lavoura-pecuária, e uma maior eficiência no uso deles, por plantas e animais, está diretamente ligada à velocidade de decomposição dos resíduos vegetais e animais e à taxa de liberação de nutrientes para o solo. O fato de tratamentos feitos na pastagem antecessora influenciarem a decomposição de resíduos da cultura implantada sobre esta pastagem está diretamente ligado à maior disponibilidade de nutrientes proporcionada por algum dos tratamentos.

Os benefícios ambientais podem resultar dos sistemas integrados lavoura-pecuária, incluindo melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do

solo. Considerando as propriedades químicas do solo, a fertilidade é melhorada por meio da reciclagem de nutrientes e do uso mais eficiente de fertilizantes decorrentes das diferentes necessidades das culturas em rotação. As propriedades físicas do solo são melhoradas pelas raízes forrageiras que melhoram a estrutura, a capacidade de infiltração e retenção de água e o estoque de carbono no solo. Consequentemente, há um incremento na densidade e abundância da fauna edáfica e outros atributos biológicos (MACEDO, 2009).

Desta forma, se tornam indispensáveis estudos que demonstrem a dinâmica dos nutrientes envolvidos no sistema desde o período em que acontece a produção animal até o aproveitamento pela cultura de verão. Contudo a ciclagem de nutrientes é um aspecto carente de informação e importante de ser estudado em sistemas integrados de produção, considerando que nestes sistemas a presença do animal aumenta a complexidade das interações entre seus componentes solo-planta-animal. O solo também traz complexidade ao manejo da adubação, especialmente em solos com alta presença de óxidos de ferro e alumínio que tendem a reter ânions, como os fosfatos.

A adubação de sistema é um novo método que entra no cenário para a utilização de fertilizantes com o objetivo de promover maior eficiência no uso de nutrientes (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2010). “Essa adubação consiste na reposição estratégica de nutrientes em situações de solos que tenham sua fertilidade construída, de acordo com o conhecimento dos fluxos de entrada e de saída dos nutrientes no sistema”. (CARVALHO et al., 2020).

Nesse sentido, estudos que objetivam promover o equilíbrio da utilização de fertilizantes nas adubações de culturas de soja e milho poderão otimizar os custos do plantio e colheita, a demanda de energia, bem como ampliar a proteção dos recursos naturais (TORRES, 2010).

No Brasil, pastagens consorciadas de gramíneas e leguminosas já são realidades em diversas regiões e deverão conquistar, a cada ano, maior grau de importância. A técnica e o conhecimento dos processos estão evoluindo bastante, porém, ainda há necessidade de esforços para aumentar o número de pesquisas com a utilização de culturas mistas (SIMIONI, T.A. et al. 2014).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Verificar o efeito residual de aplicações de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) antecipado em pastagens para a cultura do milho em sucessão para um sistema integrado de produção agropecuária.

2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar teores de fósforo e potássio residuais no solo, após a pastagem e após a cultura do milho;
- Estudar o efeito da cultura de lavoura sobre o solo em um sistema de integração lavoura-pecuária;
- Determinar a eficiência de uso de fosforo e potássio em sistema de integração lavoura-pecuária com espécies hibernais no ciclo da pecuária.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA)

Alvarenga & Noce (2005) descrevem a SIPA como a diversificação, a rotação, a consorciação ou a sucessão das atividades de agricultura e de pecuária dentro da propriedade rural, de forma harmônica, em um mesmo sistema, para que haja benefícios para ambas. Em SIPA a área poderá ser explorada economicamente durante todo o ano, o que favorece o aumento da oferta de grãos, de carne e de leite, a um custo mais baixo, em virtude do sinergismo entre lavoura e pastagem.

Assmann et al. (2004) enfatiza que o sistema pasto lavoura ou integração lavoura-pecuária, bastante difundido nos últimos anos, apresenta alternância temporária (rotação) de cultivos para grãos e pastagens de gramíneas ou leguminosas. Segundo este mesmo autor a rotação lavoura-pastagem aparece como uma estratégia mais promissora para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e mais sustentáveis no tempo.

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) destaca-se como uma estratégia de produção, que integra culturas anuais (soja/milho) e pecuária, no mesmo espaço, em consórcio, rotação ou sucessão, buscando recuperar a capacidade produtiva do solo, intensificar o uso da terra, disponibilizar alternativas de produção agrícola de baixo carbono, contribuir para a redução do desmatamento e melhorar o nível tecnológico e técnico do uso do solo.

A crescente demanda por alimentos e a evolução tecnológica têm levado a agricultura moderna a modelos simplificados de monocultura intensivos no uso de insumos agrícolas e padronizados, deixando de lado a associação (integração) das lavouras e das lavouras com a pecuária (BALBINO et al., 2011).

Esses sistemas de produção agrícola estão apresentando indícios de saturação. Ao mesmo tempo, na pecuária brasileira, que é principalmente baseada em pastagens, ainda existem sistemas de produção intensivos em capital, que alcançam altos rendimentos por área e/ou por animal, e sistemas extensivos de baixa eficiência técnica, que se caracterizam por pastagens e solos com algum grau de degradação, baixa reposição de nutrientes do solo e baixo investimento em tecnologia.

Os sistemas integrados lavoura-pecuária são apresentados como alternativas à agricultura tradicional para a manutenção ou incremento da

produtividade e recuperação indireta das pastagens. Nestes sistemas, as culturas não são introduzidas como componentes eventuais, mas são parte de um sistema no qual a produção de grãos e animais interagem e se complementam em aspectos como manejo do solo, fertilidade, física e biologia, melhorando a rentabilidade da fazenda e trazendo avanços sociais para áreas rurais (MACEDO, 2009).

Os sistemas integrados lavoura-pecuária caracterizam-se pela rotação, consórcio ou sucessão das atividades agropecuárias em uma mesma área, de forma harmônica, de forma a beneficiar ambas as atividades. Esses sistemas possibilitam explorar economicamente as áreas de produção ao longo do ano, permitindo o aumento da produção de grãos, leite e carne, com menores custos em função da interação lavoura e pastagem.

Os benefícios ambientais podem resultar dos sistemas integrados lavoura-pecuária, incluindo melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo. Considerando as propriedades químicas do solo, a fertilidade é melhorada por meio da reciclagem de nutrientes e do uso mais eficiente de fertilizantes decorrentes das diferentes necessidades das culturas em rotação. As propriedades físicas do solo são melhoradas pelas raízes forrageiras que melhoram a estrutura, a capacidade de infiltração e retenção de água e o estoque de carbono no solo. Conseqüentemente, há um incremento na densidade e abundância da fauna edáfica e outros atributos biológicos (MACEDO, 2009).

Nesse cenário, os sistemas de integração lavoura-pecuária as interações no ambiente entre solo-planta-animal são ainda mais dinâmicas e complexas, pois é necessário conciliar duas atividades, a produção de grãos e a de animais, em uma mesma área e/ou propriedade rural, distribuídas em diferentes épocas do ano. O que abre demanda de técnicas e estratégias de planejamento forrageiro e das áreas de lavoura. A eficiência na produção vegetal pode ser resolvida, em um sistema de integração lavoura-pecuária, englobando a produção vegetal (grãos e forragem) e a animal, maximizando a utilização das áreas agricultáveis, fazendo com que a produção vegetal seja a mais constante possível.

O manejo de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária em sistema de plantio direto pode aumentar a eficiência do uso de recursos, como nutrientes, para garantir altas produtividades (Salton et al., 2014). Para tanto, o sistema de integração lavoura-pecuária é adequado para aumentar a rentabilidade e

sustentabilidade da produção do milho/soja nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil (Franchini et al., 2014).

Para Lazzaroto et al. (2009) esses sistemas podem ser muito vantajosos, pois, entre outras coisas, podem diversificar as fontes de receitas, diminuir riscos de frustrações de produção e, ou, de preços e reduzir impactos negativos ao meio ambiente. No entanto, apesar de existirem, na literatura, diversos estudos que demonstram as vantagens técnicas em combinar explorações vegetais e animais, no Brasil, ainda é grande a carência de resultados que evidenciem os benefícios e riscos econômicos na condução de práticas de integração agropecuária.

3.2 Consórcio de gramíneas (aveia/azevém) e leguminosas (trevo visiculoso)

Segundo Peixoto et al. (2001) a consorciação é a prática de associar numa mesma área o plantio de culturas diversas para aumentar o rendimento, enriquecer a vida biológica do solo e protegê-lo contra a erosão. Considerada como uma técnica agrícola de conservação que visa um melhor aproveitamento em longo prazo do solo, bem como o cultivo na qual se utiliza mais de uma espécie de planta na mesma área e no mesmo período.

O uso de uma variedade de leguminosas e gramíneas como pastagem ou cobertura do solo sequestra mais carbono e nitrogênio do solo do que a monocultura (Fornara & Tilman, 2008). Também ajuda a controlar plantas invasoras (Vrignon-Brenas, Celette, Piquet-Pissaloux, Jeuffroy, & David, 2016). Portanto, além de melhorar a qualidade do pasto, os consórcios de gramíneas e leguminosas podem aumentar a disponibilidade de nitrogênio no solo e reduzir fertilizantes nitrogenados e aplicações e custos de pesticidas.

A principal expectativa do uso de leguminosa em pastagens, segundo Pereira (2002), é a melhoria da produção animal em relação à pastagem de gramínea exclusiva, como efeito da participação direta da leguminosa melhorando e diversificando a dieta do animal e também do aumento da disponibilidade de forragem pelo aporte de nitrogênio ao sistema, através da sua reciclagem e transferência para a gramínea acompanhante.

A produção animal em pastagens de gramíneas de estação fria é dependente da relação entre o comportamento animal e os atributos das pastagens, estes últimos, principalmente influenciados pelo nível de fertilizante nitrogenado

utilizado. O principal benefício da inclusão de leguminosas em pastagens de gramíneas de estação fria é devido ao fato que as leguminosas melhoram o valor da dieta apreendida pelo animal em pastejo (POPPI & McLLENAN, 1995).

No Brasil, pastagens consorciadas de gramíneas e leguminosas já são realidades em diversas regiões e deverão conquistar, a cada ano, maior grau de importância. A técnica e o conhecimento dos processos estão evoluindo bastante, porém, ainda há necessidade de esforços para aumentar o número de pesquisas com a utilização de culturas mistas (SIMIONI, T.A. et al. 2014).

3.3 Suplementação animal

A suplementação alimentar de bovinos, se economicamente viável, pode ser uma alternativa para aumentar o balanço nutricional da dieta dos animais, diminuir o tempo de engorda, bem como, proporciona elevar a capacidade de carga animal por área, tornando-se uma alternativa para sistemas mais intensivos como os de integração Lavoura-Pecuária, provendo para o sistema maior ciclagem de nutrientes para a cultura sucessora (BUNGENSTAB *et al.*, 2019; VENDRAMINI; DUBEUX; SILVEIRA, 2014; ROCHA et al. 2003).

A suplementação tem como principal objetivo fornecer nutrientes disponíveis em menor quantidade para um animal a pasto, a fim de atender exigências nutricionais dos animais, proporcionando maior desenvolvimento aos mesmos (REIS *et al.* 2009).

Em espécies forrageiras de estação fria, que possuem alto valor nutritivo, o efeito do suplemento energético proporciona ao produtor a possibilidade de aumento da taxa de lotação animal a pasto, pois geralmente há redução na ingestão de matéria seca do pasto por unidade consumida de matéria seca do suplemento (PÖTTER *et al.*, 2008).

A inclusão de suplementação animal pode ser uma maneira de introduzir nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em um sistema de produção, além de estimular uma maior ciclagem de nutrientes. A utilização de suplementos, como rações concentradas, proporciona aos animais uma fonte adicional de nutrientes, incluindo N, P e K, que são subsequentemente depositados no solo através do esterco e da urina. Essa contribuição de nutrientes provenientes da suplementação

animal enriquece o solo, tornando-os prontamente disponíveis para as culturas agrícolas cultivadas posteriormente na mesma área.

Além disso, a suplementação animal geralmente está associada a uma maior densidade animal, o que resulta em uma maior quantidade de esterco e urina depositados no solo. Essa maior carga animal aumenta a quantidade de nutrientes reciclados e a ciclagem de nutrientes no sistema, beneficiando a fertilidade do solo e aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Portanto, a suplementação animal desempenha um papel significativo na entrada e ciclagem de nutrientes em sistemas de produção agropecuária.

A consorciação de espécies, leguminosas e gramíneas, e o uso de suplemento na alimentação animal são alternativas para intensificação dos sistemas de produção agropecuários, sejam sistemas que integram lavoura e pecuária ou sistemas exclusivamente pecuários. A leguminosa em consócio com gramíneas pode reduzir a necessidade de insumos nitrogenados e o suplemento proporcionar maior entrada de nutrientes no sistema, especialmente N, P e K, uma vez que a suplementação animal pode permitir maior carga animal (GEHLEN, 2020).

3.4 Adubação de sistemas e a sucessão de culturas

A adubação de sistema é um novo método para a utilização de fertilizantes com o objetivo de promover maior eficiência no uso de nutrientes (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2010). “Essa adubação consiste na reposição estratégica de nutrientes em situações de solos que tenham sua fertilidade construída, de acordo com o conhecimento dos fluxos de entrada e de saída dos nutrientes no sistema”. (CARVALHO et al., 2020).

Na adubação de sistemas a recomendação da utilização de fertilizantes passa a ser pensada em todas as espécies que compõem o sistema, dessa forma, sendo necessário conhecer as necessidades nutricionais das culturas. (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2010).

Apesar de o nível de fertilidade do solo ser interpretado em muitos casos como alto ou muito alto, é comum que os agricultores continuem adubando com quantidades fixas de N, P e K, por temerem a redução de produtividade. Essa prática tem resultado em adubações desnecessárias ou superdimensionadas, com baixa eficiência de uso dos fertilizantes (BENITES et al., 2010). Nesse tipo de

manejo da adubação, a recomendação de fertilizantes deixa de ser realizada isoladamente para uma cultura, e passa-se a considerar o sistema como um todo (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010).

A adubação de sistema surge como alternativa racional no uso de fertilizantes, com propósito de beneficiar todo o sistema produtivo e promover maior eficiência no uso de nutrientes. Essa adubação consiste na reposição estratégica de nutrientes em situações de solos que já tenham sua fertilidade construída (acima do teor/nível crítico), de acordo com o conhecimento dos fluxos de entrada e de saída dos nutrientes no sistema.

Os benefícios da rotação de culturas refletem na qualidade física, química e biológica do solo, assim como na dinâmica de pragas, doenças e plantas daninhas, resultando em aumentos na produtividade das culturas envolvidas no sistema de produção. Além disso, ao utilizar diferentes espécies vegetais para produção de grãos e/ou forragem, há uma diversificação da fonte de renda para o produtor. Embora a rotação seja recomendada tecnicamente, a decisão final fica a critério do agricultor, que muitas vezes leva em consideração aspectos econômicos em detrimento da sustentabilidade do agronegócio.

Adotando ao sistema da rotação de culturas, devemos considerar que seus resultados em economia e renda serão notados somente médio a longo prazo, no entanto essa prática é fundamental para a manutenção e melhoramento da fertilidade do solo, resumindo-se a ciclagem de nutrientes, a qual varia conforme o sistema radicular das culturas utilizadas, diversificação biológica e controle de pragas e doenças (BAYER, 1999).

No contexto da agricultura moderna, podemos citar o sistema de plantio direto, que visa somente o revolvimento do solo nos sulcos de semeadura, minimizando a exposição do mesmo as mais diversas intempéries climáticas, bem como mantendo toda a palhada proveniente das adubações verdes, como cobertura do solo, servindo como camada protetora contra o impacto das gotas da chuva que possuem grande relevância no âmbito da compactação dos solos (MUZILLI, 1991).

3.5 Adubação com fósforo e potássio

Estudos que objetivam promover o equilíbrio da utilização de fertilizantes nas adubações de culturas de soja e milho poderão otimizar os custos do plantio e

colheita, a demanda de energia, bem como ampliar a proteção dos recursos naturais. (TORRES, 2010).

Dentre os fertilizantes, a adubação com fósforo (P) e potássio (K) é bastante difundida nas culturas de soja e milho, sobretudo em sistemas de plantio direto. (SFREDO, 1990). De acordo com Carneiro et al. (2009) têm sido comum o elevado teor de P e K nos solos em áreas de produção de grãos devido ao efeito residual de adubações anteriores. Isso ocorre devido os agricultores, visando aumentar a produtividade de suas culturas, continuarem a adubar suas lavouras com P e K sem critérios de dosagens. O que ao longo do tempo favorece o desequilíbrio no fornecimento de nutrientes. Ou seja, é cada vez mais comum a realização de adubações desnecessárias ou superdimensionadas. (BENITES et al., 2010).

O fósforo (P) é um importante macronutriente para as plantas. Está envolvido na transferência de energia para as células vegetais, na fotossíntese e na respiração, além de estar presente nas membranas vegetais como fosfolipídios. É um importante componente dos nucleotídeos que são usados como fonte de energia para as plantas, como a adenosina trifosfato (ATP), além de compor estruturalmente os ácidos nucléicos (DNA e RNA). (TAIZ et al., 2017, p.126; GRANT et al., 2001).

As indisponibilidades do P nos estádios de desenvolvimento iniciais das plantas podem causar restrições no crescimento vegetativo. De acordo com Taiz et al. (2017, p.126) Sintomas característicos da deficiência de fósforo incluem o crescimento atrofiado da planta inteira e uma coloração verde-escura das folhas, que podem ser malformadas e contêm pequenas áreas de tecido morto denominadas manchas necróticas. As limitações de disponibilidade do P ainda podem comprometer a síntese de ácido nucleico e proteínas, dessa forma, provocando o acúmulo de compostos nitrogenados solúveis no tecido vegetal. Além disso, ocasiona baixa estatura nas plantas, retardação do crescimento de folhas, diminuição na brotação, no desenvolvimento de raízes secundárias e na produção de sementes e matéria seca. (GRANT et al., 2001).

Em solos oxidícos, o P deve receber maior atenção devido ao seu potencial de fixação no solo, pois essa fixação de P resulta em formas menos disponíveis para as plantas. Atualmente a quantidade de P aplicada no solo é superior a quantidade exportada pela cultura, resultando em estoques de P de forma menos disponíveis às plantas (PROCHNOW, L. I.; PETERSON, H.; BRUULSEMA, T.).

O ciclo do P no solo é influenciado por diversos fatores, incluindo o tipo de solo. Em solos oxidícos, como é o caso dos solos encontrados em muitas regiões tropicais, o comportamento do fósforo pode ser diferente de outros tipos de solos. Nesses solos, o P tende a se fixar fortemente às partículas minerais, tornando-se menos disponível para as plantas. A baixa disponibilidade de fósforo pode limitar o crescimento das plantas e afetar a produtividade agrícola.

No entanto, a presença de ciclos de nutrientes, como o ciclo planta-animal, desempenha um papel fundamental na disponibilidade e ciclagem do fósforo. As plantas, por meio de suas raízes, absorvem o fósforo presente no solo. Quando os animais consomem essas plantas, o fósforo é incorporado à sua dieta e, posteriormente, liberado no solo através do esterco e da urina.

Essa devolução de fósforo ao solo por meio do ciclo planta-animal é essencial para manter a fertilidade do solo. O esterco animal, rico em nutrientes, incluindo fósforo, contribui para enriquecer o solo e aumentar sua disponibilidade para as plantas. Além disso, a atividade microbiana no solo também desempenha um papel importante na ciclagem do fósforo, promovendo sua transformação em formas mais solúveis, facilitando assim a absorção pelas plantas.

Portanto, a ciclagem do fósforo no ciclo planta-animal é de grande importância para garantir a disponibilidade adequada desse nutriente essencial para o crescimento das plantas. Através desse ciclo, o fósforo é reciclado e reaproveitado, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas integrados de produção agropecuária.

O potássio (K), por sua vez, possui um papel essencial na fisiologia das plantas. Esse macronutriente está associado a regulação osmótica das células vegetais, além de desempenhar atividades bioquímicas relacionadas à ativação de enzimas envolvidas na respiração e na produção de energética dos vegetais (TAIZ et al., 2017). O potássio, absorvido participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, abertura e fechamento de estômatos, absorção de água do solo, atividades enzimáticas, formação de amido e síntese proteica (SENGIK, 2003). Outrossim, embora K não faça parte de nenhum composto orgânico dentro dos vegetais, esse elemento está envolvido na formação de frutos, no balanço hídrico e na translocação de metais pesados (TAKASU et al., 2014).

Por exemplo no milho, o K eleva a qualidade do vegetal, principalmente a massa individual dos grãos e no número de grãos por espiga. (RODRIGUES et al., 2014). Além disso, a presença desse nutriente ocasiona o aparecimento precoce da inflorescência feminina, eleva a resistência do colmo e provoca uma maturação uniforme. (TAKASU et al., 2014). O estudo realizado por Rodrigues et al. (2014) constatou que o incremento de doses de K_2O promoveu o aumento das concentrações de K e clorofila nos tecidos foliares; proporcionou o aumento da altura do milheiro e na inserção da espiga, além do crescimento do número de fileiras e de grãos por milho.

4 METODOLOGIA

4.1 Localização da Área Experimental

O trabalho foi realizado na Unidade de Ensino e Pesquisa de Bovinocultura de Corte na área destinada à integração lavoura-pecuária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus de Dois Vizinhos, localizada a 25° 33' Sul e 51° 29' Oeste e tem altitude média de 520 m. O solo classifica-se como nitossolo vermelho distroférico de textura argilosa (BHERING & SANTOS, 2008).

4.2 Descrição do Clima e Dados de Precipitação

O Clima da região é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa) segundo a classificação de Köppen, subtropical, úmido (ALVARES, et al., 2013). A precipitação anual varia de 1.400 a 1.800 mm (IAPAR, 2000).

4.3 Área Experimental

A área experimental é de aproximadamente 7 hectares, dividido em três blocos de aproximadamente 2,3 ha cada. Cada parcela com pastejo possui em média 0,7 ha. Junto a essa área somam-se cerca de 0,5 ha para manutenção de animais reguladores. E posteriormente na mesma área no verão, foi implantada a cultura do milho.

Em toda a área experimental foi efetuada amostragem de solo de 0 a 20 cm, antes da implantação do experimento, ou seja, antes do plantio da pastagem de inverno 2021/22. Os dados obtidos estão apresentados a seguir, na tabela 1:

Tabela 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da instalação do experimento. M.O. por digestão úmica; P, K, Cu, Fe, Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich-I; pH em CaCl 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹.UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

MÉDIAS											
	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	V%	
Profundidade	gdm ³	CaCl ₂	mgdm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----							%
0-10	37,7	4,8	15,5	0,36	6,2	2,5	0,2	6,5	9,1	57,7	
10-20	37,3	5,08	4,9	0,24	6,2	2,5	0,07	5,7	9,0	61,0	

Fonte: Autoria Própria (2023).

4.4 Desenho Experimental

O experimento foi conduzido em duas fases principais, que podem ser caracterizadas individualmente por: Cultivo e manejo do consórcio Aveia + Azevém + Trevo Vesiculoso em pastejo (Inverno 2021); e Cultivo de milho para produção de grãos (verão 2021/22).

O experimento teve um total de sessenta parcelas, e caracteriza-se como esquema tri-fatorial (3x4x5), no delineamento de blocos ao acaso, em parcela subdividida, com 3 repetições:

- Na parcela principal consórcio aveia+azevém+trevo vesiculoso alocados os tratamentos de inverno compostos de Suplementação animal (2 níveis de suplementação animal (0,3% e 0,5% do peso vivo) e sem suplementação);
- Nas subparcelas, ciclo de lavoura, foram distribuídas as doses de adubação fosfatada e potássica;
- E nas subsubparcelas as doses de N em cobertura na cultura do milho.

Os tratamentos no inverno são compostos do cultivo de aveia + azevém + leguminosa em área total. Foi utilizado o pastejo contínuo com lotação variável, de acordo com a técnica “put and take” (MOTT e LUCAS, 1952), mantendo-se dois animais testers por piquete e número variável de animais reguladores, para manter a mesma oferta de forragem em todos os piquetes.

Foram 36 novilhos, castrados da raça Angus com idade inicial de 6 ± 2 meses e peso vivo inicial médio de 178,06 ± 10,12 kg, segundo ORTEGA, D. S. L (2022). Os animais foram distribuídos nos três blocos, sendo cada um dos blocos recebendo

suplementação específica, sendo, sem suplementação e suplementação na ordem de 0,3% e 0,5% do peso vivo do animal, fornecido uma vez ao dia.

Os animais permaneceram em pastagem constituída de aveia preta, azevém e trevo vesiculoso. Foram avaliados os seguintes tratamentos: testemunha (apenas pastagem), Suplementação 0,3% (pastagem com suplementação energética a base de gérmen de milho), Suplementação 0,5% (pastagem com suplementação energética a base de gérmen de milho).

Na implantação da cultura do milho, a adubação foi realizada adicionando diferentes doses de fósforo (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e potássio (0, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹ de K₂O) no plantio do milho, na linha. E em subsubparcelas onde foram adicionadas as doses de nitrogênio (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ de N) em cobertura na cultura do milho.

4.5 Condução do Experimento

4.5.1 Pastagem Hiberna (Aveia + Azevém + Trevo Vesiculoso)

A implantação da pastagem ocorreu no dia 10 de maio de 2021. As gramíneas foram semeadas pelo sistema de plantio direto, com espaçamento entre linhas de 17cm e profundidade de 3,0 a 5,0 cm; e as leguminosas foram semeadas a lanço. A densidade de semeadura utilizada foi de 55 kg.ha⁻¹ de sementes de Aveia Preta cultivar IAPAR61, 25 kg.ha⁻¹ de sementes de Azevém cultivar POTRO, 10 kg.ha⁻¹ de semente de Trevo Vesiculoso cultivar BRS PIQUETE. A adubação de base foi realizada com 400 kg.ha⁻¹ do adubo formulado 05-20-10 (N-P-K). Além da aplicação de adubação nitrogenada realizada a lanço, em dois momentos, no momento do perfilho (60 kg ha⁻¹ de N) e após 50 dias de pastagem (60 kg ha⁻¹ de N), totalizando nas duas aplicações 120 kg de ha⁻¹ de N.

Sendo essa adubação feita objetivando aumentar a produção de pastagem, e utilizar o animal como catalisador, reciclando os nutrientes via fezes e urina, para posteriormente serem usados pelo milho no próximo ciclo de cultivo.

A massa de forragem (kg MS.ha⁻¹), foi estimada com o método de dupla amostragem descrita por Wilm et al. (1944). As avaliações foram realizadas cada 21 dias; utilizando-se um quadrado de 0,25 m². Foram realizados quatro cortes, próximo ao solo, por piquete, para a partir deste determinar a MF. Além dos cortes, foram realizadas outras 20 estimativas visuais por piquete. Também foram alocadas duas

gaiolas de exclusão de pastejo por piquete, para determinar a taxa de acúmulo da pastagem (TAD), a qual foi calculada utilizando-se a fórmula descrita por Campbell, (1966).

As amostras coletadas foram homogeneizadas e subdivididas em duas amostras, uma amostra de 300 gramas foi utilizada para a determinação da matéria seca em estufa com circulação de ar forçado à temperatura de 55°C durante 72 horas. A outra foi utilizada para a separação botânica (espécies forrageiras que constituem a pastagem) e estrutural (lâmina foliares, colmo e material morto).

Segundo Hodgson, (1990) a massa de forragem deve de ser acima de 1.500 kg Ms.ha⁻¹ para não limitar o consumo dos animais em pastagens temperadas. No presente estudo a massa de forragem média foi de 2.238 kg de MS para todos os tratamentos, indicando que a massa de forragem não foi limitante ao desempenho dos animais. Não houve variação na massa de forragem e oferta de forragem, indicando que houve manejo adequado das forrageiras durante o período experimental (ORTEGA, D. S. L, 2022).

4.5.2 Milho

Após a saída dos animais da área do ciclo de inverno foi realizada a aplicação de um herbicida não seletivo em toda a área. No dia 21 de outubro de 2021, foi realizada a semeadura do milho (*Zea Mays*), cultivar AS1868PRO3 em todos os 9 piquetes, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e população de 73.332 sementes ha⁻¹ de milho.

A adubação das parcelas consistiu na aplicação do formulado 2-20-18 nas doses 0, 145, 293 e 425 kg ha⁻¹, adicionadas em linha de plantio, caracterizando o tratamento de doses de adubação P e K para o milho.

No dia 18 de novembro, com as plantas de milho no estágio V4 (Figura 1), foi realizada a aplicação manual de Nitrogênio na forma de ureia (46% de N) nas proporções de 0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ de N, em cobertura, caracterizando o tratamento de doses de N na cultura do milho. Vale destacar que mesmo no tratamento sem adubação nitrogenada, as parcelas receberam 120 kg ha⁻¹ de N que foram aplicados na pastagem.

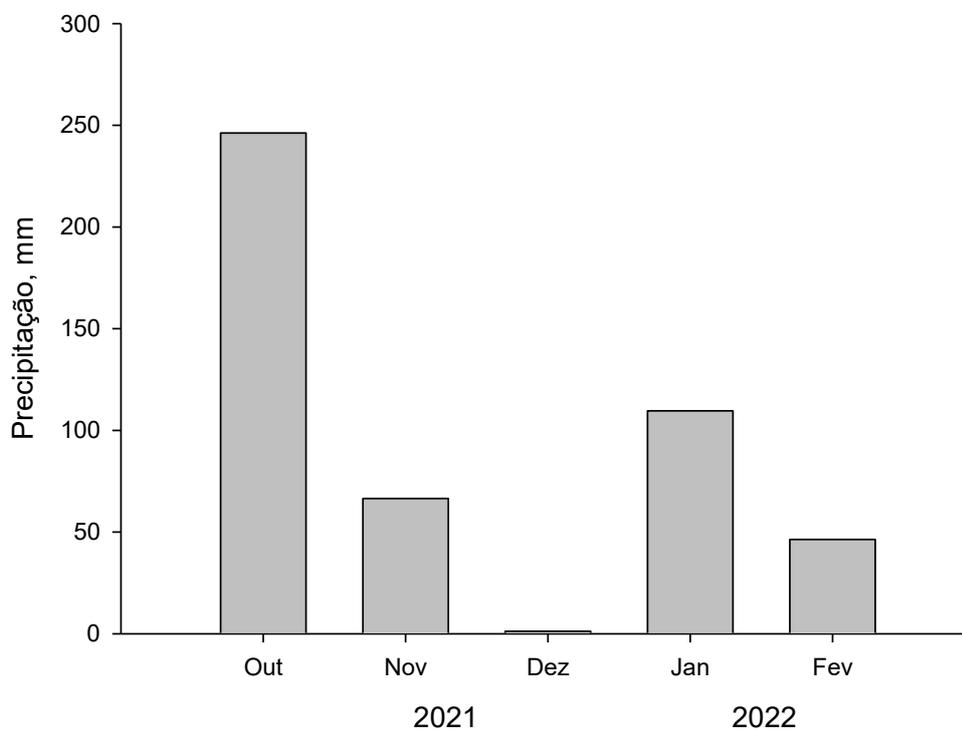
Figura 1 – Milho na fase V4 de desenvolvimento em sistema de integração lavoura pecuária sob diferentes doses de adubação fosfatada, potássica e nitrogenada. UTFPR-Dois Vizinhos.



Fonte: Aatoria Própria (2023).

Devido as condições meteorológicas de baixa precipitação de chuvas na região de Dois Vizinhos – Paraná (Figura 2), durante a época de desenvolvimento da cultura do milho, a cultura sofreu com uma grave deficiência hídrica, ocasionando problemas, como a não formação da espiga, e conseqüentemente, não houve produção do milho (Figura 3).

Figura 2 – Precipitação (mm) durante o cultivo do milho safra 2021/2022. Dois Vizinhos.



Fonte: Autoria coordenador do trabalho (2023).

Entre os estágios V10 e VT da planta a demanda de nutrientes (NPK), bem como, a demanda de água, é de extrema importância para que haja um bom desenvolvimento da planta e produção de grãos, esses estágios de desenvolvimento da planta condizem exatamente com o mês de dezembro, onde a precipitação foi próxima de 0 mm.

Figura 3 – Milho sem produção na fase final de desenvolvimento em sistema de integração lavoura pecuária sob diferentes doses de adubação fosfatada, potássica e nitrogenada. UTFPR-Dois Vizinhos.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Para fins de avaliação de produtividade do milho, realizou-se o corte de 10 plantas de milho (Figura 4), em seguida as mesmas foram trituradas em um triturador de milho, e posteriormente alocadas em pacotes de papel e pesadas, obtendo assim a massa verde das plantas.

Figura 4 – Milho coletado para análise de Massa Verde em sistema de integração lavoura pecuária sob diferentes doses de adubação fosfatada, potássica e nitrogenada. UTFPR-Dois Vizinhos.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Em seguida, as amostras foram levadas para uma estufa de secagem, onde foram secas por 72 horas em temperatura de 70°C. Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas, obtendo-se assim a massa seca das plantas de milho.

Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade de erro, quando significativos às médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4.5.3 Solo

Anteriormente a implantação da pastagem de inverno, afim de obter dados sobre a composição química prévia da área experimental, fez-se uma coleta de solo, as amostragens foram realizadas na profundidade de 0-20 cm.

A coleta foi realizada em todas as unidades experimentais (piquetes) em maio de 2021. Com o auxílio de um trado holandês as amostras de solo foram coletadas em três locais diferentes, adicionadas em um recipiente plástico, homogeneizadas e armazenadas em pacotes plásticos devidamente identificados – com etiqueta identificando o piquete e profundidade de coleta.

A exemplo do procedimento de coleta realizado no período pré-pastagem, antes da implantação da cultura do milho uma nova coleta de solo foi realizada na área experimental, isso tudo seguindo os mesmos procedimentos citados acima. Com o objetivo de avaliar os resultados da ação do gado após a fase de pastagem.

Após o período da cultura do milho, uma última coleta de solo foi realizada, afim de avaliar a eficiência de aplicação das diferentes doses de adubação. Em cada parcela, realizou-se a coleta utilizando-se de um trado holandês, em três pontos diferentes ao longo da parcela, as amostras coletadas foram transferidas para um recipiente plástico, homogeneizadas e alocadas em pacotes plásticos devidamente identificados.

As amostras foram secas em estufa por 72 horas, em temperatura de 70°C, posteriormente trituradas, conforme protocolo de preparo de amostras, e por fim enviadas para análise no Laboratório Multiusuário de Solos – LabSolos da UTFPR Campus Pato Branco – Paraná. Metodologias utilizadas: M.O. por digestão úmica; P, K, Cu, Fe, Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich-I; pH em CaCl 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Pós-Pastagem

Não houve diferença ($P < 0,05$) entre os teores de MO, P e K em relação as diferentes profundidades do solo.

Tabela 2 – Teores de Matéria Orgânica (MO) em g/dm^{-3} na profundidade 0 a 20 cm após saída dos animais. M.O extraído com digestão úmica. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Profundidade	Suplementação			Média
	0	0,3	0,5	
0-10	43,3 ^{ns}	41,9 ^{ns}	43,8 ^{ns}	43,03
10-20	41,9 ^{ns}	40,6 ^{ns}	31,0 ^{ns}	38,1

Fonte: Autoria Própria (2023).

Segundo a tabela 2, o teor de matéria orgânica no solo não apresentou distribuição característica ao longo do perfil do solo, os teores de MO encontrados, não diminuem em relação ao aumento da profundidade de avaliação. Isso justifica-se pelo longo histórico de cultivo em SIPA da área experimental. Onde, a entrada de resíduos de culturas, excretas e o pisoteio dos animais, bem como a ação de diferentes espécies de plantas, influenciam nos teores de MO no perfil do solo.

Tabela 3 – Teores de Fósforo (P) em mg/dm^{-3} na profundidade 0 a 20 cm após saída dos animais da pastagem. P extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Profundidade	Suplementação			Média
	0	0,3	0,5	
0-10	29,3 ^{ns}	29,5 ^{ns}	23,3 ^{ns}	27,4
10-20	18,9 ^{ns}	14,1 ^{ns}	17,1 ^{ns}	16,7

Fonte: Autoria Própria (2023).

Os resultados para concentração de P no solo (tabela 3), foi considerada não significativa para os tratamentos de suplementação do gado, e profundidade.

A dinâmica dos teores de P seguiram distribuição característica no perfil do solo, com teores mais elevados na camada mais superficial (0-10 cm), e menores na camada mais profunda (10-20 cm). Isso é característico baseado na pouca mobilidade do nutriente (P) no solo, e reforçado pelo modo de adubação utilizado.

O aumento dos teores de P disponível na camada mais superficial do solo é influenciado pela distribuição de resíduos de plantas e animais (urina e esterco)

sobre o solo durante o período de pastejo, retornando em maior quantidade via esterco, 95% do P (HAYNES; WILIAMS, 1993).

Em avaliação do P em sistema de ILP com ovinos, Sartor (2012) observou que ao longo de 6 anos de avaliação (2006-2011) as áreas com animais em pastejo no inverno apresentaram maiores teores de P no solo, com maior acúmulo de P na camada mais superficial do solo. Além disso, a manutenção de níveis mais elevados de fósforo disponível no solo na camada superficial pode estar relacionada à aplicação de adubos fosfatados na linha de semeadura, com uma profundidade máxima de 10 cm (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001).

Também é possível observar que teores de P tiveram grande aumento comparando pré-implantação do experimento com os teores obtidos no pós-pastagem. Os teores de P pré-implantação do experimento (tabela 1) foram de 20,4 mg/dm⁻³ (0-20 cm) para em média 44,1 mg/dm⁻³ de P (0-20 cm) no pós-pastagem.

O que corrobora com os achados de COSTA et.al, 2014, onde relatam que o processo de pastejo contribui para o crescimento das raízes, o que pode promover a formação de macroporos e a melhoria da bioporosidade do solo, facilitando a migração do fósforo para camadas mais profundas do solo.

Segundo Assmann et al. (2002), 65% do nitrogênio, fósforo e potássio absorvidos por bovinos é excretado via fezes e urina. Os mesmos autores destacam que uma das principais vantagens do SIPA é o aproveitamento e reciclagem de nutrientes que ora estão no solo, são absorvidos pela pastagem, estando na biomassa, posteriormente ao pastejo pelos animais são descartados via excretas, retornando ao solo onde estão disponíveis ou serão mineralizados, podendo ser absorvidos novamente pela pastagem e retornando à produção animal. Esta ciclagem é fundamental para o sucesso do sistema.

De acordo com um estudo realizado por Monteiro & Werner em 1997, o esterco é incorporado ao solo rapidamente, passando por um processo de decomposição facilitado pela ação de fatores como a chuva, o pisoteio animal, os microrganismos e a mesofauna. Portanto, quando o esterco bovino entra no sistema na fase de pastagem, ocorre a liberação de nutrientes que podem beneficiar a fase de cultivo subsequente, nesse caso, o milho, resultando em um aumento da produtividade (SILVA et al. 2014).

Tabela 4 – Teores de Potássio (K) em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na profundidade 0 a 20 cm após saída dos animais. K extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Profundidade	Suplementação			Média
	0	0,3	0,5	
0-10	0,49 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,43
10-20	0,25 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,30

Fonte: Aatoria Própria (2023).

Os tores de K no solo (tabela 4), são considerados não significativos para os tratamentos de suplementação e profundidade ($P < 0,05$).

Os teores de K disponível no solo decrescem com o aumento da profundidade do solo avaliada, mantendo-se com valores superiores ao muito alto ($0,43 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$) até a camada de 0-10 cm (Tabela 4). Boa parte do K disponível nessa camada do solo é provinda do retorno de K via excretas dos animais (esterco e urina), influenciando na fertilidade do solo.

Além disso, um dos objetivos de utilizar-se de animais a pasto é realizar a reciclagem dos nutrientes no sistema, transportando-os das camadas mais profundas para as camadas superficiais do solo. Por isso, podemos observar a formação de um gradiente decrescente nos níveis de potássio em profundidade.

Nesse contexto, um estudo conduzido por Ferreira et al. (2009) constatou que, após um período de pastejo em uma área de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), a distribuição de potássio no perfil do solo revelou a formação desse gradiente decrescente, começando a partir da superfície do solo. Esse comportamento é considerado comum em sistemas de plantio direto consolidados e ocorre de forma semelhante ao gradiente de carbono orgânico no solo (MIELNICZUK, 2005; ANGHINONI, 2007).

À exemplo do que aconteceu com o fósforo, o K também teve grande aumento comparando pré-implantação do experimento com os teores obtidos no pós-pastagem. Os teores de P pré-implantação do experimento (tabela 1) foram de $60,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (0-20 cm) para em média $73,0 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de P (0-20 cm) no pós-pastagem.

A elevada concentração de potássio nas camadas superficiais do solo está relacionada às cargas trocáveis presentes nesse solo, em grande parte influenciadas pelo conteúdo de matéria orgânica do solo (KAYSER e ISSELSTEIN, 2005). Esse fenômeno é ainda mais acentuado devido à adição de resíduos

orgânicos provenientes da deposição de dejetos animais, que contribui para um aumento no suporte de potássio nessa camada do solo.

Braz et al. (2002) destaca em seu trabalho que teores de K mais altos na retirada dos animais em pastejo evidenciam a grande capacidade das pastagens e também, provavelmente, o próprio efeito dos animais na ciclagem do K.

5.2. Pós Milho

Não houve diferença ($P < 0,05$) no teor de MO na profundidade (0-10 cm) no tratamento doses de adubação (tabela 5), a testemunha sem adubação, se mantém igual aos tratamentos de adubação, evidenciando que a área experimental se encontra em estabilidade, proveniente do longo período de cultivo em SIPA.

No tratamento doses de suplementação houve diferença ($P < 0,05$) nas médias finais do tratamento (Tabela 5). Tendo obtido no tratamento sem suplementação o maior teor de MO, podendo ser relacionado com a menor carga animal nas parcelas sem suplementação, gerando maior massa vegetal e conseqüentemente maior produção de matéria orgânica no solo.

Tabela 5 – Teores de Matéria Orgânica (MO) em $g\ dm^{-3}$ na profundidade 0 a 10 cm após safra do milho. M.O extraído com digestão úmica. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Suplementação	Doses de adubação				Média
	0	30-20	60-40	90-60	
0	44,7	42,9	39,3	42,4	42,3A
0,3	39,3	35,7	36,5	38,9	37,3B
0,5	39,3	36,6	37,9	42,4	39,1B
Média	41,1a	38,4a	37,9a	41,2a	

Letras minúsculas na coluna diferem entre si 5%. Letras maiúsculas na linha diferem entre si 5%.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Os resultados de MO na profundidade 10-20 cm (Tabela 6) em relação as doses de adubação (P e K) possuem diferenças ($P < 0,05$), onde, as médias entre o tratamento sem adubação, e o tratamento de maior adubação (90-60) são estatisticamente iguais, e superiores aos demais tratamentos (30-20 e 60-40). Isso evidencia mais uma vez que o sistema está se mantendo em estabilidade, e sugere que a presença dos animais melhora a ciclagem e distribuição dos nutrientes no

perfil do solo, uma vez que, a entrada de fertilizante mineral não foi igual em todos os tratamentos.

Referente ao tratamento doses de suplementação (Tabela 6) na camada mais profunda (10-20 cm), não houve diferença estatística entre os tratamentos.

De modo geral em SPD, há um gradiente decrescente de concentração de MO em relação ao aumento da profundidade do solo. Porém, não é o que se observa nas Tabelas 5 e 6, onde os teores de MO se mantem muito próximos independentemente da profundidade de avaliação, o que evidencia novamente a estabilidade do sistema depois de anos de cultivo.

Tabela 6 – Teores de Matéria Orgânica (MO) em g dm⁻³ na profundidade 10 a 20 cm após safra do milho. M.O extraído com digestão úmica. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Suplementação	Doses de adubação				Média
	0	30-20	60-40	90-60	
0	36,1	31,7	35,7	37,1	35,19A
0,3	35,2	30,8	33,5	34,8	33,6A
0,5	34,4	31,7	32,6	38,4	34,2A
Média	35,3a	31,4b	33,9ab	36,8a	

Letras minúsculas na coluna diferem entre si 5%. Letras maiúsculas na linha diferem entre si 5%.

Fonte: Aatoria Própria (2023).

Os tores de P (0-10 cm) possuem diferenças ($P < 0,05$) tanto para o tratamento doses de adubação, como para o tratamento suplementação (Tabela 7).

O maior teor de P em superfície é comum por se tratar de um elemento químico pouco móvel no solo e, portanto, a ocorrência de lixiviação deste elemento em solos argilosos é pouco pronunciada (NOVAIS, 2007).

Referente as doses de adubação, os tratamentos com maior dose de adubação, possuem maiores teores de P, sendo em média estatisticamente iguais. Na testemunha, e na dose de adubação 30-20 os teores obtidos são menores que nos maiores tratamentos de adubação, mas são estatisticamente iguais entre si.

Para suplementação, a testemunha e o tratamento 0,3% mostram-se iguais ($P < 0,05$), e maiores que o tratamento suplementação 0,5%.

O aumento de P no solo devido à suplementação animal pode ser relacionado tanto à entrada de P via suplemento quanto à maior ciclagem de nutrientes decorrente da maior carga animal. A suplementação animal com rações

concentradas, por exemplo, fornece uma fonte adicional de nutrientes, incluindo o fósforo, que é depositado no solo por meio do esterco e da urina dos animais. Essa entrada direta de P via suplemento contribui para aumentar os níveis desse nutriente no solo.

Tabela 7 – Teores de Fósforo (P) em mg dm⁻³ na profundidade 0 a 10 cm após safra do milho. P extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Suplementação	Doses de adubação				Média
	0	30-20	60-40	90-60	
0	24,5cB	25,5cB	41,4bAB	57,0aA	37,1AB
0,3	36,9bA	36,5bA	52,3aA	34,1bB	40,0A
0,5	22,1aB	25,9aB	35,3aB	31,6aB	28,7B
Média	27,8abc	29,3abc	43,0ab	40,9ab	

Letras minúsculas na coluna diferem entre si 5%. Letras maiúsculas na linha diferem entre si 5%.

Fonte: Autorial Própria (2023).

A presença de maiores teores de P na parcela de suplementação 0,3% pode ser justificada pela maior taxa de lotação do piquete, gerando maior quantidade de placas fecais na parcela. Segundo Assmann 2013 o teor de fósforo presente no esterco é superior aos teores encontrados nos outros resíduos do sistema, como pasto, caule e folhas da soja. Isso se deve ao fato de que cerca de 95% do fósforo ingerido pelo animal retorna ao sistema através do esterco (Haynes & Williams, 1993), em uma forma concentrada. Esse fósforo passa por uma pré-degradação no rúmen do animal antes de ser excretado. Essa pré-degradação contribui para a concentração do fósforo no esterco.

Além disso, a maior carga animal associada à suplementação animal resulta em uma maior quantidade de esterco e urina sendo depositada no solo. Isso aumenta a ciclagem de nutrientes, incluindo o fósforo, à medida que esses nutrientes são reciclados no sistema. O esterco animal é uma fonte rica em nutrientes, como o P, e sua decomposição libera gradualmente esses nutrientes, tornando-os disponíveis para as plantas. Portanto, a maior carga animal proporcionada pela suplementação animal promove uma maior ciclagem de nutrientes, o que contribui para o aumento dos níveis de P no solo ao longo do tempo.

Em resumo, tanto a entrada direta de P via suplemento animal quanto a maior ciclagem de nutrientes devido à maior carga animal são fatores que podem levar ao aumento dos níveis de fósforo no solo em sistemas com suplementação animal. Ambos os processos desempenham papéis importantes na disponibilidade de P para as plantas e na manutenção da fertilidade do solo.

Tabela 8 – Teores de Fósforo (P) em mg dm⁻³ na profundidade 10 a 20 cm após safra do milho. P extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Suplementação	Doses de adubação				Média
	0	30-20	60-40	90-60	
0	8,1bB	8,9bB	13,3aA	12,5aB	10,7AB
0,3	13,0aA	12,6aA	12,3aA	7,8bB	11,4AB
0,5	8,9aB	13,1aA	13,0aA	18,1aA	13,3A
Média	10,0ab	11,6ab	12,8a	12,8a	

Letras minúsculas na coluna diferem entre si 5%. Letras maiúsculas na linha diferem entre si 5%.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Na tabela 8, observa-se diferenças ($P < 0,05$) para os tratamentos de suplementação e para doses de adubação. Sendo, os maiores teores de P no tratamento suplementação 0,5%. A testemunha e o tratamento 0,3% de suplementação são estatisticamente iguais entre si ($P > 0,05$).

Em relação as doses de adubação, nos tratamentos com maior carga de adubação (60-40 e 90-60) as médias foram superiores a testemunha e a menor dose de adubação (30-20). Apesar da diferença ser significativa, entre os tratamentos, destaca-se a testemunha, pois mantém teores de P no solo muito próximos dos tratamentos com grande carga de adubação mineral.

O teor de fósforo no solo seguiu uma tendência decrescente na medida em que se aumentou a profundidade de avaliação. Isso pode ser explicado pela falta de chuva durante o período de desenvolvimento da cultura do milho, as raízes das plantas precisam buscar água e nutrientes nas camadas mais profundas do solo.

Ao integrar agricultura e pecuária no sistema de plantio direto, o pastejo pelos animais acrescenta complexidade à dinâmica do fósforo. Isso ocorre devido à influência da intensidade do pastejo na retirada de nutrientes do sistema e na quantidade de nutrientes reintroduzidos através das fezes. Essa interação entre pastejo e fósforo pode resultar em alterações nas formas e na dinâmica desse elemento no sistema, que por sua vez, podem justificar os resultados obtidos.

Tabela 9 – Teores de Potássio (K) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade 0 a 10 cm após safra do milho. K extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Suplementação	Doses de adubação				Média
	0	30-20	60-40	90-60	
0	0,47aB	0,71aA	0,64aAB	0,46aB	0,57A
0,3	0,46aA	0,44aB	0,21bB	0,39aAB	0,37B
0,5	0,23bB	0,38aB	0,28bB	0,52aA	0,35B
Média	0,39ab	0,51a	0,38b	0,45ab	

Letras minúsculas na coluna diferem entre si 5%. Letras maiúsculas na linha diferem entre si 5%.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Os teores de K obtidos na profundidade 0-10 cm (Tabela 9) possuem diferença estatística ($P < 0,05$) nas doses de adubação e na suplementação animal.

O tratamento 30-20 destaca-se como o tratamento de adubação com maior teor de K na profundidade 0-10 cm, o tratamento com maior adubação possui teores intermediários, a testemunha e o tratamento de adubação 60-40 possuem teores de K iguais estatisticamente.

Referente a suplementação (Tabela 9), a testemunha tem teores de K maiores que os tratamentos de suplementação (0,3% e 0,5%), sendo a suplementação não se apresenta como uma alternativa para adição de K no sistema, influenciado justamente pela baixa quantidade de suplemento e pela taxa de lotação animal.

Na tabela 10, que representa os teores de K na profundidade 10-20, observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos de suplementação, nem das diferentes doses de adubação.

Houve apenas diferença nas médias de suplementação animal, sendo o maior teor médio registrado para o tratamento 0,3%, seguido da testemunha, e o menor teor médio obtido foi o tratamento de suplementação 0,5%.

Tabela 10 – Teores de Potássio (K) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade 10 a 20 cm após safra do milho. Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da instalação do experimento. K extraído com solução de Mehlich-I. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

Suplementação	Doses de adubação				Média
	0	30-30	60-60	90-90	
0	0,21bAB	0,20bAB	0,32aA	0,15bB	0,22AB
0,3	0,41aA	0,32aAB	0,23bB	0,19abB	0,28A
0,5	0,13cB	0,17bAB	0,10cB	0,27aA	0,17B
Média	0,25a	0,23a	0,22a	0,20a	

Letras minúsculas na linha diferem entre si 5%. Letras maiúsculas na coluna diferem entre si 5%.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Ao avaliar os dados mais amplamente os teores de K na testemunha, em uma profundidade de 0-20 cm, os teores obtidos no pós-pastagem (Tabela 4) e no pós-milho (Tabelas 9 e 10) observa-se que os teores de K se mantêm muito próximos, mesmo após o cultivo do milho. A testemunha possuía teores de $0,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K no pós-pastagem, e passaram para $0,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K no pós-milho.

Já no tratamento de maior dose de adubação esses teores não apresentam o mesmo padrão apresentado pela testemunha, onde, os teores de K no pós-pastagem (0-20 cm) apresentavam teores de $0,89 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e no pós-milho passou para $0,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, mesmo com a adição de uma grande quantidade de nutriente.

Esses resultados devem-se a capacidade adquirida pelo solo de realizar a ciclagem do K obtido a partir da degradação dos restos da pastagem e excretas animais, o que novamente reforça a importância dos sistemas integrados de produção agropecuária na ciclagem do K e, também, sugere um transporte do nutriente em maior profundidade no perfil do solo.

Tabela 21 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm após o fim do experimento. M.O. por digestão úmica; P, K, Cu, Fe, Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich-I; pH em CaCl 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L-1. UTFPR, Dois Vizinhos - PR, 2023.

MÉDIAS							
	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	V%
Profundidade	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					%
0-10	5,2	5,0	2,9	0,06	5,5	8,3	60,0
10-20	5,1	4,4	2,7	0,1	5,7	7,3	56,2

Fonte: Autoria Própria (2023).

5.3. Balanço de P

Os teores de fósforo disponível no solo foram alterados pela aplicação de fertilizantes fosfatados (Tabela 12). Inicialmente o solo da área experimental encontrava-se com 21,4 kg de P na profundidade 0-20 cm, e após a adição de 38,7 kg de P no momento da implantação da pastagem invernal, e com o ciclo da pastagem encerrado, os teores de P subiram para 44,1 kg de P na profundidade 0-20 cm. Tendo por fim, um saldo de P= 22,7 kg ou eficiência de 58,7% na aplicação de P na pastagem.

Tabela 32 – Balanço de entradas e saídas de Fósforo (P) em kg de P em uma profundidade de 0-20 cm, durante o ano agrícola de 2021/2022.

	Kg de P (0-20 cm)			
Solo antes	21,4	21,4	21,4	21,4
Entrada inverno	38,7	38,7	38,7	38,7
Solo pós pastejo	44,1	44,1	44,1	44,1
Saldo	22,7	22,7	22,7	22,7
Eficiência P aplicado inverno (%)	58,7	58,7	58,7	58,7
Doses de Adubação P Verão	0	30-30	60-60	90-90
Entrada Verão	0	12,9	25,8	38,7
P absorvido milho	22,5	23,9	22,4	23,0
Solo pós milho	38,8	40,9	55,9	53,7
Saldo pós milho	17,2	20,7	34,2	32,6
Eficiência P aplicado verão (%)	0,0	27,2	65,9	39,6
Saldo sistema	17,4	19,5	34,5	32,3
Adicionado total	38,7	51,6	64,5	77,4

Fonte: Autoria Própria (2023).

Já no verão, mesmo sem adição de P em uma das parcelas, é possível perceber que as quantidades do nutriente não se diferenciam no saldo do sistema,

ou seja, a entrada de P no sistema foi de 38,7 kg de P 0-20 cm, após o desenvolvimento das plantas de milho, ainda possui um total de 38,8 kg de P 0-20 cm, podendo observar-se assim, um equilíbrio no sistema.

A quantidade de nutrientes disponibilizada pelo resíduo sobre o solo, depende da quantidade do conteúdo dos mesmos nesses resíduos e da quantidade de resíduo. Isso explica porque o sistema entra em equilíbrio conforme o manejo adotado (ANGHINONI et al. 2009).

No tratamento 30-30, onde houve adição total de 12,9 kg de P no verão. Após o fim do ciclo do milho o total foi de 40,9 kg de P 0-20 cm. Adicionando ao sistema um saldo final de 27,2% de eficiência na adubação.

O tratamento 60-60, foi o mais eficiente na eficiência de P aplicado no verão, com 65,9%, tendo em vista a adição de 25,8 kg de P na parcela, e um saldo final do sistema de 34,5 kg de P.

Por fim, o tratamento 90-90 que não teve o mesmo desempenho do tratamento anterior, pois uma quantidade superior de P foi adicionada (38,7 kg) e teve como saldo final 32,3 kg de P na profundidade 0-20 cm para o sistema.

5.4. Balanço de K

A entrada de K, via fertilizante, para a pastagem foi igual em toda a área experimental (58,1 kg de K 0-20 cm), e as exportações desse nutriente pelos animais foram em quantidades pequenas, visto que o saldo de K no solo após o pastejo foi de 46,92 kg de K 0-20 cm (Tabela 13), eficiência de 80,8% de K aplicado no inverno.

Tabela 43 – Balanço de entradas e saídas de Potássio (K) em kg de K em uma profundidade de 0-20 cm, durante o ano agrícola de 2021/2022.

	Kg de K (0-20 cm)			
Solo antes	234,6	234,6	234,6	234,6
Entrada inverno	58,1	58,1	58,1	58,1
Solo pós pastejo	281,52	281,52	281,52	281,52
Saldo	46,92	46,92	46,92	46,92
Eficiência K aplicado inverno (%)	80,8	80,8	80,8	80,8
Doses de Adubação K Verão	0	30-30	60-60	90-90
Entrada Verão	0	24,9	49,8	74,7
K absorvido milho	112,7	119,7	112,2	114,9
Solo pós milho	250,24	289,34	234,6	254,15
Saldo pós milho	81,4	127,5	65,3	87,5
Eficiência K aplicado Verão (%)	0,0	185,3	-32,4	8,1
Saldo sistema	15,6	54,7	0,0	19,6
Adicionado total	58,1	83,0	107,9	132,8

Fonte: Autoria Própria (2023).

Em sua pesquisa, Novais (2007), afirma que as interações entre nitrogênio e potássio usualmente são do modo não competitivo, onde a absorção de um dos elementos eleva a necessidade do outro. Isso pode explicar os teores mais baixos de K encontrados na análise do solo nas parcelas onde foram aplicadas maiores doses de N durante a cultura do milho.

O que também pode justificar as perdas de K durante o verão é o trabalho de Kayser & Isselstein (2005) onde, os autores salientam que a lixiviação de K em pastagens é normalmente baixa, mas altos teores de K disponível no solo e alta entrada de K via fertilizante ou urina levam a incrementos de perdas.

5.5 Produção de Matéria Seca (MS) no Milho

Considerando a expectativa de recuperação do milho no mês de janeiro não foi feito replantio, além disso, replantio no mês de janeiro, considerando a disponibilidade hídrica para ser feito, atrasaria o plantio da cultura de inverno e não representaria a proposta inicialmente estabelecida.

Considerando o avaliado, não foi observada diferença na produção de matéria seca e verde entre os tratamentos avaliados. Devido ao efeito do déficit hídrico,

acima detalhado, não é possível caracterizar detalhadamente os efeitos, porém observa-se que, diante do avaliado, a adubação feita na pastagem mostra efeito para cultura de verão feita na sequência nesse sistema de produção (Tabela 14).

A adubação prévia do milho antes da semeadura pode resultar em uma imobilização temporária do nitrogênio pela biomassa microbiana do solo, sendo posteriormente disponibilizado nos estágios de desenvolvimento do milho que demandam maior quantidade desse nutriente. Da mesma forma, a aplicação de nitrogênio em cobertura pode levar ao acúmulo de nitrogênio na camada superficial do solo, o que pode afetar processos como imobilização, mineralização e desnitrificação, comprometendo a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Essa situação é mais relevante em sistemas integrados já consolidados (GOMES et al., 2007; LOPES et al., 2017).

A produção de MS apresentou média de 11.485 kg ha⁻¹, não diferindo para nenhum dos tratamentos. Portanto, a adubação feita no ciclo da pastagem garantiu essa produção de matéria seca de milho. Vale ressaltar que é quantitativo de biomassa de milho, sem componentes de rendimento, visto dano causado pela falta de chuva no estágio de florescimento do milho (Figura 3).

O pastejo e a adubação nitrogenada na aveia interagem contribuindo para a produtividade de milho (SILVEIRA et al. 2012). Os resultados obtidos neste estudo corroboram com as descobertas de Lopes et al. (2012) e Assmann et al. (2003), que comprovaram a disponibilidade do nitrogênio aplicado na pastagem de inverno para a cultura subsequente, sem comprometer sua produtividade. Bortolli (2016), ao avaliar a produtividade do milho em um sistema integrado de produção com inversão ou não de adubação e diferentes manejos da pastagem, constatou que não houve redução na produtividade da cultura do milho.

Tabela 54 – Produção de Massa Seca e Massa Verde de milho em sistema de integração lavoura pecuária sob diferentes doses de adubação fosfatada, potássica e nitrogenada. UTFPR - Dois Vizinhos.

Níveis de suplementação para animais durante ciclo pecuária - inverno						
	0,0%*	0,3%	0,5%	Média		
Massa Seca (kg ha ⁻¹)	11.268	11.971	11.217	11.485		
Massa Verde (kg ha ⁻¹)	23.078	23.994	22.320	23.130		
Adubação no milho (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O em kg ha ⁻¹)**						
	0	3-30-30	6-60-60	9-90-90	Média	
Massa Seca (kg ha ⁻¹)	11.371	11.511	11.200	11.859	11.485	
Massa Verde (kg ha ⁻¹)	22.233	23.787	22.398	24.104	23.130	
Dose de Nitrogênio no Milho (kg ha ⁻¹)***						
	0	75	150	225	300	Média
Massa Seca (kg ha ⁻¹)	10.973	11.180	11.221	12.161	11.892	11.485
Massa Verde (kg ha ⁻¹)	21.896	23.025	22.601	24.701	23.431	23.130

* Nível suplementação em % do Peso vivo dos animais bovinos de corte.

** Adubação no plantio do milho.

***Dose de Nitrogênio em cobertura na cultura do milho.

Fonte: Aatoria Própria (2023).

De acordo com Rosolem et al. (2003), embora não tenha sido observada diferença significativa nos componentes de rendimento do milho com a aplicação de potássio, a aveia pode desempenhar um papel eficiente na liberação desse nutriente para a cultura do milho. Isso ocorre especialmente quando a aveia é cultivada como planta de cobertura durante o inverno, pois contribui para uma maior disponibilidade de potássio por meio da decomposição de sua palhada.

Com base nas informações apresentadas, é possível observar que a adubação NPK aplicada durante a fase de pastagem em sistemas integrados de produção demonstra ser uma estratégia altamente eficaz. Essa abordagem pode potencialmente substituir a necessidade de adubação de cobertura em culturas subsequentes. Isso ocorre devido à rápida disponibilidade de nutrientes, como o potássio, que retorna ao sistema assim que a decomposição da pastagem se inicia em sistemas integrados de produção.

6 CONCLUSÃO

Durante o período de pastagem a adubação com potássio mostrou-se eficiente, além de não demonstrar perdas via lixiviação no perfil do solo. Isso indica que estas técnicas podem ser seguramente implantadas sem riscos de danos relevantes a fertilidade do solo se forem asseguradas as mesmas condições de solo, clima e manejos aplicados.

Porém, no milho, a adubação com potássio não teve efetividade nas parcelas, tendo grandes variações. Entretanto, essas perdas podem ser justificadas pelas condições climáticas de estiagem no período, que danificaram a produtividade da cultura.

O fósforo apresentou 58,7% de eficiência durante a fase de pastagem, e em média 33% de eficiência nas parcelas de adubação ao fim do ciclo do milho. Isso é reflexo da complexidade da dinâmica do fósforo no solo em diversos sistemas de manejo.

Portanto, observamos diversos impactos do cultivo anterior sobre a cultura do milho e suas interações dentro do sistema solo-planta-animal. No que diz respeito ao comportamento dos nutrientes do solo, é evidente o efeito residual de MO, P e K proveniente da pastagem sobre a cultura subsequente. Esse efeito é influenciado pela aplicação dos fertilizantes durante o crescimento da pastagem e pela gestão da pastagem.

Considerando a produção de massa seca, pode-se afirmar que a adubação aplicada durante o ciclo da pastagem contribuiu para a produção de biomassa de milho. É importante ressaltar que esses valores são referentes à quantidade de biomassa, sem levar em consideração os componentes de rendimento, uma vez que a falta de chuvas durante o estágio de florescimento do milho teve um impacto negativo nesses aspectos.

Por fim, os SIPA de longa duração que promovem o aporte de resíduos vegetais e plantas durante todo o ano, com o uso da adubação de sistemas e a presença constante dos animais favorecendo a entrada de nutrientes, contribuem para maior atividade biológica, potencializando a ciclagem dos nutrientes e reduzindo potenciais perdas.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. Integração lavoura-pecuária. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2005. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 47).

ALVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, GONÇALVES JLM, SPAVOREK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22:711-728. 2013.

ANGHINONI, Ibanor; FERREIRA, Eric Victor Oliveira; CARVALHO, Paulo César Faccio; COSTA, Sergio Ely Valadão Gigante Aandrade; CAO, Eduardo Giacomelli. Concentração do potássio do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1675- 1684, 2009.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. e NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.873-928, 2007.

ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; LEVINSKI-HUF, F.; ZORTÉA, T.; ASSMANN, A.; MORAES, A.; ALVES, S. Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária (Cap. 8). In: SOUZA, E. D. (Eds.). **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 123-144, 2018.

ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. de; NICHEL, G. de H.; COSTA, S. E. V. G de A.; SILVA, R. A. P E; BALERINI, F.; CARVALHO, P. C. de F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 2017. DOI: 10.1007/s10705-016-9818-6.

ASSMANN, T. S. et al. Does cattle grazing of dual-purpose wheat accelerate the rate of stubble decomposition and nutrients released? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 37–42, jun. 2014.

ASSMANN, J. M. Estoque de carbono e nitrogênio no solo e ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto de longa duração, 2013. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – **Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre**, 2013.

ASSMANN, A. L. et al. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 37-44, 2004.

ASSMANN, T. S.; RONZELLI JUNIOR, P.; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 675-683, 2003.

ASSMANN, A. L. Adubação nitrogenada de forrageiras de estação fria em presença e ausência de trevo branco, na produção da pastagem e animal em área de Integração Lavoura- Pecuária. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia) - **Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, 2002.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. (Ed.). Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília: **Embrapa**, 2011.130p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. **Porto Alegre**: Gênese, 1999. p. 9-26.

BÉLANGER, G.; ZIADI, N.; PAGEAU, D.; GRANT, C. A.; LAFOND, J.; NYIRANEZA, J. Shoot growth, phosphorus–nitrogen relationships, and yield of canola in response to mineral phosphorus fertilization. **Agronomy Journal**. v.107, p.1458–1464, 2015.

BENITES, V. de M.; POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.V. Oportunidades para a inovação tecnológica no setor de fertilizantes no Brasil. **Boletim Informativo da SBCS**, v.35, p.18-21, 2010.

BONETTI, J. D. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. D. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.

BRAZ, S.P. et al. Aspectos quantitativos do processo de reciclagem de nutrientes pelas fezes de bovinos sob pastejo em pastagem de *Brachiaria decumbens* na zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.858-865, 2002.

BORTOLLI, M. A. Adubação de sistemas: Antecipação de adubação nitrogenada para cultura do milho em integração lavoura-pecuária. 2016. 87 f. Tese (Doutorado em agronomia) – **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Pato Branco, 2016.

BUNGENSTAB, D. J. et al. (Eds.). Inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: **Embrapa**, 2019.

CAMPBELL, A.G. Grazed pastures parameters; I. Pasture dry matter production and availability in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. **Journal of Agriculture Science**, v.67, p.211-216, 1966.

CARVALHO, Mariana Munhoz da Rocha Pacheco de. Adubação de sistema: antecipação de adubação fosfatada para cultura da soja. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - **Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco**, 2021.

CARVALHO, P. C.; SANTOS, D. T.; GONÇALVES, D. N.; MORAES, A.; NABINGER, C. Forrageiras de clima temperado. **Departamento de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS**, v. 2, p. 60, 2010.

CARVALHO, P.C.F.; MORAES, A.; ANGHINONI, I. et al. Manejo da integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto para a região de clima subtropical. In: **Encontro nacional de plantio direto na palha**, 2006, Uberaba, MG. **Anais...** Uberaba, MG, FEBRAPD, p.177-184, 2006.

CARVALHO, P.; BREMM, C.; FARIAS, G. et al. Nutrição: adubação para a cultura ou para o sistema?. **A Granja**. 2020.

CARVALHO, A. F. G. Adubação nitrogenada de sistema e ofertas de forragem sobre a produtividade de um sistema de integração lavoura-pecuária. 2018. 194 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), **Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco**, 2018.

COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R.; CECAGNOA, D.; BALERINI, F. Impact of an integrated no-till crop–livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 43-51, 2014.

DUBEUX Jr., J. C. B.; SOLLENBERGER, J. M. B.; VENDRAMINI, S. M. et al. Stocking method, animal behavior, and soil nutrient redistribution: How are they linked? **Crop Science**, 54:2341-2350, 2014.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: **Embrapa-Solos**, 2006. 306 p.

FERREIRA, E.V.O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F., COSTA, S.E.V.G.A. & CAO, E.G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1675-1684, 2009.

FORNARA, D.A. & TILMAM, D. 2008. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. **Journal of Ecology** 96:314-322.

FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Soybean performance as affected by desiccation time of *Urochloa ruziziensis* and grazing pressures. **Revista Ciência Agrônômica**, v.45, p.999-1005, 2014.

GEHLEN, Jean Carlos. Suplementação animal e trevo vesículoso em sistemas integrados de produção: seus efeitos na produtividade do milho e soja e na ciclagem de nutrientes. 2020. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - **Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos**, 2020.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G. da; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

GRANT, C.A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônômicas**, nº 95. 2001.

HAYNES, R. J. & WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture system. **Advances in Agronomy**, 49:119-199, 1993.

HODGSON, J. Grazing management. Science into practice. Grazing management. **Science into practice.**, 1990. Longman Group UK Ltd.

KAYSER, M. & ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: A review. **Grass For. Sci.**, 60:213-224, 2005.

LAZZAROTTO TERRA LOPES, M. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, 2009.

LOPES, E. C. P.; MORAES, A.; LANG, C. R.; SANDINI, I. E.; MÜLLER, M. M. L.; OLIVEIRA, E. B. Estratégias de adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema integrado de produção agropecuária. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.2, p. 161-177, 2017.

LOPES, É. C. P.; MORAES, A.; SANDINI, I. E.; KAMINSKI, T. H.; NOVAKOWISKI, J. H.; BAZZANEZI, A. N. Cultura do milho sob residual de nitrogênio no sistema de produção integração lavoura-pecuária. In: **XXIX Congresso Nacional De Milho E Sorgo**. Águas de Lindóia. p. 2134-2140. 2012.

LUSTOSA, Sebastião Brasil Campos. Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema de plantio direto. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – **Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias**. Curitiba, PR, 1998.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Eds). **Potássio na Agricultura Brasileira**: Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 2005. p. 165-178.

MONTEIRO, F. A. & WERNER, J. C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: **Simpósio sobre manejo de pastagem**, Piracicaba, 1997. Anais... Piracicaba: FEALQ, p. 55-84, 1997.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; PELISSARI, A.; ANGHINONI, I.; LUTOSA, S. B. C.; LANG, C. R.; ASSMANN, T. S.; DEISS, L.; NUNES, P. A. A. Sistemas integrados de produção agropecuária: Conceitos básicos e histórico no Brasil (Cap. 1). In: SOUZA, E. D. (Eds.). **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 13-28, 2018.

MOTT, G.O., LUCAS, H.L. **The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures**. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952. Proceedings... Pensylvania, State College Press., 1952. p.1380-1395

MUZILLI, O. O plantio direto com alternativa no manejo e conservação do solo. In: **Curso básico para instrutores e manejo e conservação do solo**. Londrina: IAPAR, 1991. 20p

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.471-550.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. Soja, In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds) Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 5- 42, 2010.

ORTEGA, D. S. L. Associação de taninos condensados e fontes energéticas para novilhos de corte mantidos em pastagem hibernal em consórcio com leguminosas. 2022. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Dois Vizinhos, 2022.

PEIXOTO, A. M.; PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. A Planta forrageira no sistema de produção. In: **17º Simpósio sobre Manejo da Pastagem**. Anais...FEALQ, Piracicaba, 2001.

PEREIRA, J.M. Leguminosas forrageiras em sistemas de produção de ruminantes: Onde estamos? Para onde vamos? In: **Simpósio sobre o manejo estratégico da pastagem**, 2002, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 2002, p. 109-147.

POPPI, D.P.; McLLENAN, S.R. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. **Journal of Animal Science Champaign**, v. 73, p. 278-290, 1995.

PÖTTER, L. et al. Suplementação de bovinos de corte: potencialidades na metade Sul - farelo de arroz. In: Jornada técnica em sistemas de produção de bovinos de corte e cadeia produtiva, Porto Alegre, BR: **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. 2008, p.80-86.

PROCHNOW, L. I.; PETERSON, H.; BRUULSEMA, T. Acesso das plantas ao legado de fósforo, com foco nos trópicos. **Informações Agronômicas NPCT**, n. 1, 2019.

REIS, R. A. *et al.* Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 147–159, jul. 2009.

RHEINHEIMER, D.S; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p.151-160, 2001.

ROCHA, M. G. DA *et al.* Produção animal e retorno econômico da suplementação em pastagem de aveia e azevém. **Ciência Rural**, v. 33, p. 573–578, jun. 2003.

ROCHETTE, P.; CHANTIGNY, M. H.; ZIADI, N.; ANGERS, D. A.; BÉLANGER, G.; CHARBONNEAU, É.; BERTRAND, N. Soil nitrous oxide emissions after deposition of dairy cow excreta in eastern Canada. **Journal of Environmental Quality**, v. 43, n. 3, p. 829-841, 2014.

RODRIGUES, M. A. C.; BUZETTI, S.; FILHO, M. C. M. T.; GARCIA, C. M . P.; ADREOTTI, M. Adubação com KCL revestido na cultura do milho no Cerrado. Campina Grande, PB: Ver. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2 p.127-133, 2014.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

SALTON, J. C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment, Integrated Crop-Livestock System Impacts on Environmental Processes**. v. 190, p. 70–79, 1 jun. 2014.

SARTOR, Laércio Ricardo. Atributos químicos e biológicos do solo, rendimento e valor nutritivo de grãos de milho em sistema de integração lavoura-pecuária em resposta ao nitrogênio. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências). **Universidade Federal**

do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, Curitiba, PR, 2012.

SEMMARTIN, M.; GARIBALDI, L. A.; CHANETON, E. J. Grazing history effects on above- and below-ground litter decomposition and nutrient cycling in two co-occurring grasses. **Plant and Soil**, v. 303, n. 1–2, p. 177–189, 2008.

SENGIK, E.S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. 2003. Disponível em <<http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>> Acesso em 15 Dez 2022.

SFREDO, G. J. Importância da adubação e da nutrição na qualidade da soja. **EMBRAPA – CNPSo**; 57p. Londrina. 1990.

SILVA, F. D.; LOVATO, T. J. C.; FERREIRA, A. O. et al. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 190:60-69, 2014.

SILVA, J. E. da; RESCK, D. V. S. Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável. In: **Congresso brasileiro de plantio direto para uma agricultura sustentável**, 1., 1996, Ponta Grossa, PR. Palestras... Ponta Grossa, PR: IAPAR, PRP/PG, 1997. 275 p. Editado por Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto, Dirk Claudio Ahrens e Michel Jorge Samaha.

SILVEIRA, E. R., PELISSARI, A., MORAES, A. DE, PIAZZETTA, H. VON L., LANG, C. R., & CARVALHO, P. C. DE F. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(4), 1323–1332, 2012.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.) *Fertilidade do solo*. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, 2007. p. 205-274.

SOUZA, J. M. A. M.; ZANCHI, C. S.; PIRES, G. C.; MORETTI, C. F.; BARBOSA, M. V.; SILVA, A. O.; SOUZA, E. D. Arbuscular mycorrhizal fungi in integrated crop livestock systems with intercropping in the pasture phase in the Cerrado. **Rhizosphere**, v. 11, p. 100165, 2019.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; OLIVEIRA, E. V. F.; MARTINS, A. P.; CAO, E.; ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1365-1374, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017. 888 p

TAKASU, A. T.; HAGA, K. I.; RODRIGUES, R. A. F.; ALVES, C. J. Produtividade da cultura do milho em resposta à adubação potássica. Ilha Solteira, SP: **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v.13, n.2, p. 154-161. 2014.

TORRES, F.D. Viabilidade técnica e econômica da adubação fosfatada e potássica na produção de soja e milho em sistemas de plantio direto e convencional. Tese (Doutorado em Agronomia) – **Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, MS**, 2010.

VENDRAMINI, J. M.; DUBEUX JR, J. C; SILVEIRA, M. L. Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 308-315, 2014.

VRIGNON-BRENAS, S., CELETTE, F., PIQUET-PISSALOUX, A., JEUFFROY, M. H., & DAVID, C. (2016). Early assessment of ecological services provided by forage legumes in relay intercropping. **European Journal of Agronomy**, 75(8), 89-98.

WILM, H.G.; COSTELLO, D.F.; KLIPPLE, G.E. 2009. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 36, p.194203, 1944

ZANCANARO, Leandro. KAPPES, Claudinei. VALENDORFF, José David Piccoli. CORADINI, Douglas. DAVID, Marco Antônio. Adubação fosfatada no sulco de semeadura e em superfície. 10 ed. Rondonópolis, **Fundação Mato Grosso**, 2016,510p.